

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних завдань з дисципліни
«Електромеханічні та контактні явища в електричних апаратах»
частина 1 для студентів спеціальності
G3 «Електрична інженерія» всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання практичних завдань з дисципліни «Електромеханічні та контактні явища в електричних апаратах» частина 1 для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» всіх форм навчання/Укл.: Л.С. Скрупська, С.І. Шило, О.О. Каплієнко – Запоріжжя: НУЗП, 2026.– 23с.

Укладачі: Л.С. Скрупська, ст. викл.
С.І. Шило, доцент, к. т. н.
О.О. Каплієнко, ст. викладач, к. т. н.

Рецензент: В.В.Василевський, доцент, к. т. н.

Відповідальний
за випуск: Л.С. Скрупська, ст. викл.

Затверджено
на засіданні кафедри
«Електричні та
електронні апарати»
Протокол № 6
від « 22 » 12 2025 р.

Затверджено НМК ЕТФ
Протокол № 6
від « 21 » 01 2026 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практичне завдання № 1. Загальні відомості про електромагнітні системи	6
Практичне завдання № 2. Розрахунок магнітних кіл	10
Практичне завдання № 3. Електромагніти та їх характеристики	12
Практичне завдання № 4. Статичні електромагнітні системи.....	14
Практичне завдання № 5 Загальні відомості про електричні контакти.....	16
Практичне завдання № 6. Робота електричних контактів у замкненому положенні	19
Список використаних джерел посилання	22

ВСТУП

Методичні вказівки до виконання практичних завдань з дисципліни «Електромеханічні та контактні явища в електричних апаратах» (Частина 1) охоплює фундаментальні розділи теорії електричних апаратів, що стосуються принципів побудови електромагнітних систем та фізики нерухомого електричного контакту.

Електромагнітні системи та контактні групи є серцем більшості комутаційних апаратів (реле, контакторів, автоматичних вимикачів). Ефективність роботи апарата залежить від того, наскільки точно розраховане магнітне коло, чи відповідає тягова характеристика електромагніта протидійній силі пружин, та наскільки стабільно поводяться контакти під час тривалого протікання струму.

Перша частина практикуму структурується за двома ключовими напрямками:

1. Електромагнітні системи (Завдання №1 – №4)

Цей блок присвячений теорії перетворення електромагнітної енергії в механічну роботу. Студенти вчать аналізувати магнітні кола, враховувати розсіювання магнітного потоку та розраховувати основні характеристики електромагнітів.

Мета: Навчитися проектувати магнітні системи, що забезпечують необхідні зусилля при мінімальних габаритах та енергоспоживанні.

Ключові навички: Розрахунок магнітних опорів, побудова статичних тягових характеристик, аналіз режимів роботи електромагнітів постійного та змінного струму.

2. Електричні контакти у замкненому стані (Завдання №5 – №6)

Другий блок зосереджений на фізиці контактного переходу. Розглядаються процеси, що відбуваються в місці дотику провідників, де виникає складний розподіл ліній струму та температурних полів.

Мета: Навчитися прогнозувати надійність контактного з'єднання, розраховувати перехідний опір та оцінювати тепловий стан контактів під навантаженням.

Ключові навички: Розрахунок опору звуження, аналіз впливу поверхневих плівок, визначення температури в плямах змикання за законом Хольма та розрахунок напруги фріттінгу.

Методологія виконання робіт: Кожне практичне завдання містить:

а) Теоретичний мінімум: стислий виклад формул та законів (закони Кірхгофа для магнітних кіл, емпіричні залежності для контактів).

б) Алгоритм розв'язання: покрокова інструкція для виконання типового розрахунку.

в) Приклад розв'язаної задачі: офіційно оформлений зразок виконання завдання.

д) Варіанти завдань: індивідуальні вихідні дані для самостійної роботи.

Опанування матеріалу першої частини методичних вказівок дозволить студенту перейти до вивчення динамічних режимів роботи апаратів, дугових процесів та комутаційного зносу, що розглядаються у наступних розділах курсу.

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 1.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ СИСТЕМИ

1. Загальні положення

Дані методичні вказівки призначені для студентів електротехнічного факультету, які навчаються за спеціальностями електроенергетичного та електромеханічного профілю, та вивчають дисципліну «Електромеханічні та контактні явища в електричних апаратах».

Матеріал спрямований на формування у студентів базових уявлень про електромагнітні системи, їхню класифікацію, принципи дії та роль феромагнітних матеріалів у роботі електричних апаратів.

2. Мета та завдання вивчення теми

Мета: Сформувати у студентів теоретичні знання про електромагнітні системи електричних апаратів та підготувати їх до подальшого розрахунку магнітних кіл і електромагнітних приводів.

Завдання:

- засвоїти поняття електромагнітної системи;
- вивчити класифікацію електромагнітних систем;
- розглянути приклади застосування електромагнітних систем в електричних апаратах;
- ознайомитися з основними характеристиками та властивостями феромагнітних матеріалів;
- набути навичок аналізу роботи електромагнітних систем.

3. Основні теоретичні відомості

3.1. Поняття електромагнітної системи

Електромагнітна система — це сукупність струмопровідних елементів (обмоток) та магнітопроводу, призначена для створення магнітного поля і перетворення електричної енергії в механічну або для впливу на інші елементи електричного апарата.

Основними елементами електромагнітної системи є:

- обмотка (джерело магніторушійної сили);
- магнітопровід;
- повітряні проміжки;
- рухомі елементи (якір, сердечник).

3.2. Класифікація електромагнітних систем

Електромагнітні системи класифікують за такими ознаками:

- **За родом струму:**
 - постійного струму;
 - змінного струму.
- **За характером руху якоря:**
 - з поступальним рухом;
 - з обертальним рухом;
 - без рухомих частин.
- **За призначенням:**
 - приводні (контактори, реле, електромагніти);
 - вимірювальні;
 - утримуючі та фіксуючі.

3.3. Приклади електромагнітних систем електричних апаратів

До електричних апаратів, що містять електромагнітні системи, належать:

- електромагнітні реле;
- контактори та пускачі;
- електромагнітні клапани;
- автоматичні вимикачі;
- соленоїди та тягові електромагніти.

У всіх зазначених апаратах електромагнітна система забезпечує спрацювання контактів або виконавчих механізмів.

3.4. Характеристики та властивості феромагнітних матеріалів

Феромагнітні матеріали широко застосовуються в магнітопроводах електромагнітних систем завдяки їхнім особливим властивостям:

- висока магнітна проникність;
- наявність магнітного насичення;
- гістерезис магнітної індукції;
- втрати на гістерезис та вихрові струми.

Основними характеристиками феромагнітних матеріалів є:

- залежність $\mathbf{B(H)}$;
- коерцитивна сила;
- залишкова магнітна індукція;
- питомі втрати.

4. Практичні задачі для закріплення матеріалу

Задача 1. Аналіз електромагнітної системи та її класифікація

Умова задачі

Електромагнітна система складається:

- з котушки з кількістю витків $N=800N = 800N=800$,
- осердя з феромагнітної сталі,
- рухомого якоря.

При подачі напруги на котушку якор притягується до осердя, замикаючи силові контакти апарата.

Потрібно:

1. Дати визначення електромагнітної системи.
2. Визначити тип і класифікацію наведеної електромагнітної системи.
3. Навести приклад електричного апарата, в якому використовується така система.

Задача 2. Вплив властивостей феромагнітного матеріалу на роботу електромагнітної системи

Умова задачі

Магнітопровід електромагнітної системи виготовлено з електротехнічної сталі. Відомо, що при напруженості магнітного поля $H=500 \text{ А/мН}$ магнітна індукція становить $B=1,2 \text{ ТлВ}$.

Потрібно:

1. Визначити відносну магнітну проникність матеріалу.
2. Пояснити, як властивості феромагнітного матеріалу впливають на роботу електромагнітної системи.
3. Назвати основні характеристики феромагнітних матеріалів, важливі для електричних апаратів.

Задача 3. Вибір та обґрунтування феромагнітного матеріалу для електромагнітної системи

Умова задачі

Для електромагнітної системи контактора необхідно обрати матеріал магнітопроводу. Розглядаються два феромагнітні матеріали:

- Матеріал А (електротехнічна сталь):

$$\mu_r=3000,$$

$$\text{індукція насичення } B_{\text{нас}}=1,6 \text{ Тл}$$

низькі втрати на гістерезис.

- Матеріал Б (м'який чавун):

$$\mu_r=800,$$

$$\text{індукція насичення } B_{\text{нас}}=1,3 \text{ Тл},$$

підвищені магнітні втрати.

Потрібно:

1. Пояснити, який матеріал доцільніше використати для електромагнітної системи контактора.
2. Обґрунтувати вибір з точки зору електромагнітних та експлуатаційних характеристик.
3. Вказати, до якого класу електромагнітних систем належить дана система.

Задача 4. Розрахунок тягової сили електромагніту

Умова задачі

Електромагнітна система контактора має плоский повітряний зазор між осердям та якорем.

Площа поперечного перерізу повітряного зазору

$$S=6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Магнітна індукція в повітряному зазорі становить

$$B=0,9 \text{ Тл}.$$

Потрібно:

1. Визначити тягову силу, що діє на якір електромагніту.
2. Пояснити фізичний зміст отриманого результату.
3. Зробити висновок щодо застосування такої сили в електричних апаратах.

5. Контрольні запитання

1. Дайте визначення електромагнітної системи.
2. Назвіть основні елементи електромагнітної системи.

3. За якими ознаками класифікують електромагнітні системи?

4. Які властивості феромагнітних матеріалів є визначальними для роботи електричних апаратів?

5. Чому в електромагнітах змінного струму застосовують шихтовані магнітопроводи?

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 2. РОЗРАХУНОК МАГНІТНИХ КІЛ

1. Загальні положення

Дані методичні вказівки призначені для студентів електротехнічного факультету та спрямовані на формування практичних навичок розрахунку магнітних кіл електромагнітних систем електричних апаратів. Матеріал охоплює прямі та зворотні задачі розрахунку, урахування потоків розсіяння, особливості магнітних кіл змінного струму та роботу обмоток електромагнітних систем.

Усі розрахунки виконуються без урахування насичення магнітопроводу, якщо інше не зазначено в умові задачі.

2. Основні теоретичні відомості

Магнітне коло — це сукупність елементів, по яких замикається магнітний потік під дією магніторушійної сили, створеної обмоткою зі струмом.

Між електричними та магнітними колами існує формальна аналогія:

- струм $I \leftrightarrow$ магнітний потік Φ ;
- напруга $U \leftrightarrow$ магніторушійна сила F ;
- електричний опір $R \leftrightarrow$ магнітний опір R_m .

Для повітряних проміжків основний опір магнітного кола визначається довжиною зазору та площею його перерізу.

3. Розрахункові задачі

Задача 1. Пряма задача розрахунку магнітного кола

Умова

Магнітне коло електромагніта має повітряний зазор довжиною $\Delta = 1 \text{ мм} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Площа перерізу зазору

$$S = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Котушка має $N = 800$ витків, струм $I = 0.8 \text{ А}$.

Потрібно визначити:

- магнітну індукцію в повітряному зазорі.

Задача 2. Зворотна задача розрахунку магнітного кола

Умова

Для електромагніта необхідно отримати магнітну індукцію

$B = 1.0 \text{ Тл}$ у повітряному зазорі довжиною $\Delta = 0.8 \text{ мм}$.

Кількість витків котушки

$$N = 1000.$$

Потрібно визначити:

- струм котушки.

Задача 3. Розрахунок магнітного кола з урахуванням потоку

розсіяння

Умова

Магнітний потік в основному зазорі становить

$$\Phi = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}.$$

Відомо, що коефіцієнт розсіяння

$$k_r = 1.25.$$

Потрібно:

- визначити повний магнітний потік;
- пояснити вплив розсіяння.

Задача 4. Магнітне коло змінного струму та обмотка електромагніта

Умова

Електромагніт змінного струму має котушку з:

- $N = 1200$ витків;
- індуктивність $L = 0.6 \text{ Гн}$;
- частота живлення $f = 50 \text{ Гц}$;

- напруга $U = 220 \text{ В}$.

Потрібно визначити:

- індуктивний опір;
- струм котушки.

4. Контрольні запитання

1. У чому полягає аналогія між електричними та магнітними колами?
2. Які елементи магнітного кола створюють найбільший опір?
3. Як впливають магнітні потоки розсіяння на роботу електромагніта?
4. Які особливості мають магнітні кола змінного струму?

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТИ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Мета та завдання розділу

Метою даного розділу є формування у студентів системних знань щодо принципів дії електромагнітів, їх силових, енергетичних та динамічних характеристик, а також набуття практичних навичок інженерного розрахунку електромагнітів, що застосовуються в електричних апаратах.

Основними завданнями розділу є:

- вивчення електромагнітних сил та силових характеристик електромагнітів постійного та змінного струму;
- аналіз процесів перетворення енергії в електромагнітах;
- ознайомлення з динамічними характеристиками та часом спрацьовування електромагнітів;
- формування навичок розрахунку основних параметрів електромагнітів;
- вивчення особливостей поляризованих електромагнітів та електромагнітів із постійними магнітами.

2. Короткі теоретичні відомості

Електромагніт — це електромеханічний пристрій, у якому механічна сила або переміщення створюються внаслідок дії магнітного поля, збудженого електричним струмом в обмотці. Електромагніти широко застосовуються в апаратах керування, комутації, захисту та автоматики.

Основними характеристиками електромагнітів є:

- тягова сила;
- магнітна індукція в повітряному зазорі;
- енергія магнітного поля;
- час спрацьовування;
- динамічні характеристики.

3. Розрахункові задачі

Задача 1. Розрахунок тягової сили електромагніту постійного струму

Умова

Електромагніт постійного струму має повітряний зазор $\Delta = 1$ мм.

Площа полюса $S = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Магнітна індукція в зазорі $B = 1.0$ Тл.

Потрібно визначити:

тягову силу електромагніту.

Задача 2. Визначення енергії магнітного поля та сили через енергетичний підхід

Умова

Індуктивність електромагніта $L = 0.6$ Гн.

Струм у котушці $I = 2$ А.

Залежність індуктивності від зазору в робочій точці:

$dL/dx = 0.015$ Гн/мм.

Потрібно визначити:

1. запасену енергію магнітного поля;
2. електромагнітну силу.

Задача 3. Час спрацьовування електромагніта та вплив параметрів обмотки

Умова

Електромагніт постійного струму має:

індуктивність $L = 0.4$ Гн,

опір обмотки $R = 20$ Ом,

напруга живлення $U = 24$ В.

Потрібно визначити

Електромагнітну сталу часу та оцінити вплив її зміни на час спрацьовування.

4. Контрольні запитання

1. Поясніть принцип дії електромагніта.
2. Які фактори впливають на величину тягової сили електромагніта?
3. У чому полягає енергетичний метод визначення електромагнітної сили?
4. Що таке електромагнітна стала часу та як вона впливає на динаміку електромагніта?
5. Назвіть основні способи зменшення часу спрацьовування електромагнітів.

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 4.**СТАТИЧНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ СИСТЕМИ****1. Мета та завдання розділу**

Метою даного розділу є формування у студентів системних знань щодо принципів дії електромагнітів, їх силових, енергетичних та динамічних характеристик, а також набуття практичних навичок інженерного розрахунку електромагнітів, що застосовуються в електричних апаратах.

Основними завданнями розділу є:

- вивчення електромагнітних сил та силових характеристик електромагнітів постійного та змінного струму;
- аналіз процесів перетворення енергії в електромагнітах;
- ознайомлення з динамічними характеристиками та часом спрацьовування електромагнітів;

- формування навичок розрахунку основних параметрів електромагнітів;
- вивчення особливостей поляризованих електромагнітів та електромагнітів із постійними магнітами.

2. Короткі теоретичні відомості

Електромагніт — це електромеханічний пристрій, у якому механічна сила або переміщення створюються внаслідок дії магнітного поля, збудженого електричним струмом в обмотці. Електромагніти широко застосовуються в апаратах керування, комутації, захисту та автоматики.

Основними характеристиками електромагнітів є:

- тягова сила;
- магнітна індукція в повітряному зазорі;
- енергія магнітного поля;
- час спрацьовування;
- динамічні характеристики.

3. Розрахункові задачі

Задача 1. Дросель насичення без підмагнічування

Умова

Дросель насичення працює в колі змінного струму.

Кількість витків обмотки $N = 400$.

Середня довжина магнітної лінії $l = 0.4$ м.

Магнітна проникність осердя у ненасиченому стані $\mu = 2000$.

Магнітна стала $\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7}$ Гн/м.

Потрібно визначити

індуктивність дроселя в ненасиченому режимі.

Задача 2. Дросельний магнітний підсилювач з підмагнічуванням

Умова

Дросельний магнітний підсилювач має дві керуючі обмотки.

При струмі керування $I_k = 0$ А індуктивність дроселя $L_0 = 0.3$ Гн.

При струмі керування $I_k = 0.6$ А індуктивність зменшується до $L = 0.08$ Гн.

Напруга живлення навантаження $U = 220 \text{ В}$, частота $f = 50 \text{ Гц}$.

Потрібно визначити

Струм навантаження при $I_k = 0$ та $I_k = 0.6 \text{ А}$, якщо активний опір навантаження знехтувати.

Задача 3. Магнітний підсилювач із самонасиченням

Умова

Магнітний підсилювач із самонасиченням має обмотку керування та обмотку навантаження.

Критичний струм насичення осердя $I_s = 1.2 \text{ А}$.

До моменту насичення індуктивність $L = 0.4 \text{ Гн}$, після насичення — 0.05 Гн .

Напруга живлення навантаження $U = 110 \text{ В}$, частота $f = 50 \text{ Гц}$.

Потрібно визначити

струм навантаження до та після насичення.

4. Контрольні запитання

1. Поясніть принцип дії електромагніта.
2. Які фактори впливають на величину тягової сили електромагніта?
3. У чому полягає енергетичний метод визначення електромагнітної сили?
4. Що таке електромагнітна стала часу та як вона впливає на динаміку електромагніта?
5. Назвіть основні способи зменшення часу спрацьовування електромагнітів.

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 5

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕКТРИЧНІ КОНТАКТИ

1. Мета та завдання розділу

Мета: Формування у студентів системи знань про фізичні процеси, що відбуваються в електричних контактах, та набуття практичних навичок розрахунку параметрів контактних систем електричних апаратів.

Завдання:

- вивчити методику розрахунку перехідного опору контактів залежно від матеріалу та сили натискання;
- навчитися аналізувати тепловий стан контактної плями при протіканні робочих струмів та струмів перевантаження;
- опанувати розрахунок електродинамічних зусиль відштовхування, що виникають у контактних парах при коротких замиканнях;
- навчитися обґрунтовувати вибір параметрів контактних систем для забезпечення надійної експлуатації апаратів.

2. Короткі теоретичні відомості

Електричний контакт — це перехідний опір у місці дотику двох провідників. Через мікроскопічні нерівності поверхонь реальна площа дотику ($S_{\text{реал}}$) складає лише малу частку від геометричної площі ($S_{\text{геом}}$). Струм проходить лише через окремі «плями змикання», що призводить до явища звуження ліній струму.

Класифікація за типом дотику:

- *Точкові* (сфера-площина);
- *Лінійні* (циліндр-площина);
- *Поверхневі* (площина-площина).

Основні фактори впливу:

1. **Сила натискання (F):** чим більша сила, тим більше плям змикання та нижчий опір.
2. **Матеріал:** твердість матеріалу впливає на деформацію плям, а питомий опір — на нагрів.
3. **Стан поверхні:** оксидні та сульфідні плівки мають діелектричні властивості та різко підвищують опір.
4. **Температура:** підвищення температури веде до росту питомого опору та прискорення окислення.

3. Розрахункові задачі**Задача 1. Розрахунок перехідного опору контакту****Умова:**

Потрібно визначити перехідний опір $R_{\text{пер}}$ одноточкового стикового контакту «мідь–мідь».

Сила натискання в контакті становить $F=50$ Н. Контактна поверхня вважається чистою.

Дані:

- Матеріал: Мідь (коефіцієнт $k=0,0006$ Ом для стикових контактів при натисканні в Ньютонах).
- Показник ступеня для стикового контакту: $m=0,5$.

Задача 2. Температура плями змикання (Закон Хольма)**Умова:**

Визначити максимальну температуру в зоні контакту (θ_{\max}), якщо падіння напруги на контакті становить $U_{\text{пер}}=0,12$ В.

Початкова температура контакту (тіла апарата) $\theta_0=40^\circ\text{C}$.

Дані:

- Матеріал: Срібло.
- Стала Хольма (для більшості металів): $L=2,4 \cdot 10^{-8} \text{ В}^2/\text{К}^2$.

Фактор впливу: Електричний опір і струм викликають локальний нагрів. Якщо θ_{\max} перевищить температуру розм'якшення або плавлення, контакт може зваритися.

Висновок: Температура 225°C є допустимою для срібних контактів (температура розм'якшення срібла $\sim 150\text{-}200^\circ\text{C}$, що вказує на граничний режим роботи).

Задача 3. Визначення мінімальної сили натискання для запобігання зварюванню**Умова:**

Через замкнені контори проходить струм короткого замикання $I = 5000$ А.

Потрібно визначити мінімальну силу натискання F_{\min} , необхідну для того, щоб контакти не почали відштовхуватися під дією електродинамічних сил (що призводить до виникнення дуги та зварювання).

Дані:

- Коефіцієнт форми контактів (для сферичних): $a = 0,5 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$.

4. Контрольні запитання

1. Як визначити падіння напруги на електричному контакті при відомих значеннях струму та контактного опору?

2. За якою формулою обчислюється потужність, що виділяється в контактному з'єднанні, та від чого вона залежить найбільше?

3. Чому навіть дуже малий контактний опір може спричинити небезпечний перегрів при великих струмах?

4. Які фактори впливають на величину контактного опору (сила притискання, стан поверхні, матеріал тощо)?

5. Чому срібні контакти мають кращі експлуатаційні характеристики порівняно з мідними в апаратах керування?

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 6. РОБОТА ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТІВ У ЗАМКНеноМУ ПОЛОЖЕННІ

1. Мета та завдання розділу

Мета: Вивчення фізичних явищ, що виникають під час тривалого протікання струму через замкнені контакти, та опанування методів розрахунку параметрів їх стабільності та живучості.

Завдання:

- навчитися розраховувати умови пробою поверхневих плівок (фрітгінг);
- аналізувати зміну перехідного опору при зміні температурного режиму;
- оцінювати термічну стійкість контактів при протіканні надструмів (режим зварювання);
- вивчити методи електродинамічної компенсації зусиль відштовхування.

2. Короткі теоретичні відомості

Експлуатація контактів у замкненому стані супроводжується складними фізико-хімічними процесами:

1. Плівкові явища: Поверхні контактів майже завжди вкриті оксидними або сульфідними плівками. Якщо напруга на контакті перевищує критичну, відбувається **фрітгінг** — електричний пробій плівки.

2. Теплові процеси: Струм, що проходить через плями змикання, викликає локальний нагрів (явище звуження ліній струму).

Температура в точці контакту завжди вища за температуру масиву провідника.

3. Електродинамічні сили: Струми короткого замикання створюють сили відштовхування, які можуть призвести до вібрації або зварювання контактів. Для запобігання цьому використовують петлеві або магнітні компенсатори.

3. Розрахункові задачі

Задача №1. Явище фрітінгу (пробій поверхневих плівок)

Умова:

На поверхні срібних контактів утворилася тонка сульфідна плівка товщиною $\delta=10$ нм ($10 \cdot 10^{-9}$ м).

Потрібно визначити:

Мінімальну напругу $U_{\text{фр}}$ (напругу фрітінгу), при якій відбудеться електричний пробій цієї плівки та відновиться низький перехідний опір.

Вихідні дані:

- Матеріал плівки: Сульфід срібла (Ag_2S);
- Електрична міцність плівки (середнє значення):
 $E_{\text{пр}} \approx 108$ В/м.

Задача №2. Вплив температури на величину перехідного опору

Умова:

Перехідний опір контактів при температурі $\theta_1=20^\circ\text{C}$ становить $R_{20}=150$ мкОм.

Потрібно визначити опір цих контактів R_θ під час тривалої роботи, якщо вони нагрілися до температури $\theta_2=80^\circ\text{C}$.

Вихідні дані:

- Температурний коефіцієнт опору для матеріалу контактів:
 $\alpha=0,004$ K^{-1} .

Задача №3. Розрахунок сталого нагріву контактної системи

Умова:

Через контакти тривалий час проходить номінальний струм $I_{\text{ном}} = 400$ А.

Перехідний опір контактів $R_{\text{пер}} = 60$ мкОм.

Площа поверхні охолодження контактних важелів $S = 0,005 \text{ м}^2$,
Коефіцієнт тепловіддачі $k_T = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Потрібно визначити:

Визначити стале перевищення температури контактів над навколишнім середовищем t

Задача №4. Перевірка контактів на зварювання при надструмах

Умова:

При проходженні струму короткого замикання $I_{кз} = 12 \text{ кА}$ напруга на контактах зросла до $U_{пер} = 0,55 \text{ В}$.

Потрібно визначити:

Чи відбудеться зварювання контактів, якщо вони виготовлені з міді.

Вихідні дані:

- Напруга розм'якшення міді: $U_{розм} = 0,12 \text{ В}$;
- Напруга плавлення міді: $U_{плав} = 0,43 \text{ В}$.

Задача №5. Електродинамічна компенсація зусилля відштовхування

Умова:

В апараті виникає сила відштовхування контактів $F_{ед}=40 \text{ Н}$. Для її компенсації використано петлевий компенсатор (електродинамічний замок).

Потрібно визначити (розрахувати):

Необхідну силу $F_{комп}$, яку має створити компенсатор, щоб сумарне натискання залишалось не меншим за початкове пружинне $F_{пр}=100 \text{ Н}$.

4. Контрольні запитання

1. Поясніть фізичну сутність явища **фріттингу**. Чому в колах із дуже низькою напругою (мілівольти) окислення контактів є більш критичним, ніж у силових колах?

2. Як саме зміна температури впливає на питомий опір матеріалу в зоні звуження і чому при розрахунку перехідного опору використовується коефіцієнт $2/3$ від температурного коефіцієнта опору a .

3. Сформулюйте умови теплового балансу для замкнених контактів. Як площа охолодження та коефіцієнт тепловіддачі впливають на стале перевищення температури контактної системи?

4. На основі яких критичних параметрів (напруга розм'якшення, напруга плавлення) робиться висновок про можливість **зварювання контактів** при протіканні струмів короткого замикання?

5. Яка фізична природа сил електродинамічного відштовхування в контактах і за допомогою яких конструктивних рішень (наприклад, петлевих компенсаторів) можна забезпечити стабільність контактного натискання при надструмах?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Барановський О. В. **Електричні апарати** : підручник для студ. електротехн. спец. / О. В. Барановський. — К. : Вища школа, 2014. — 415 с.

2. Бойко В. С. та ін. **Теоретичні основи електротехніки** : підручник : у 3 т. / В. С. Бойко та ін. — Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004.

3. Броварський В. П., Лазаренко М. Є. **Електромеханічні перетворювачі енергії** : навч. посіб. / В. П. Броварський, М. Є. Лазаренко. — Львів : Вид-во ЛНУ ім. І. Франка, 2018. — 432 с.

4. ДСТУ EN 60947-1:2015. **Апаратура електрична комутаційна та керування низьковольтна. Частина 1. Загальні правила.** — Чинний від 2016-07-01. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. — 180 с.

5. Єрьомін В. М., Ткаченко І. С. **Електромагнітні кола і пристрої** : підручник / В. М. Єрьомін, І. С. Ткаченко. — К. : КНЕУ, 2018. — 448 с.

6. Іванченко О. О. **Електричні контакти і комутаційні процеси** : монографія / О. О. Іванченко. — К. : Наукова думка, 2020. — 304 с.

7. Клименко Б. В. **Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс** : навч.

посіб. — Харків : Точка, 2012. — 340 с.

8. Курбатов І. І., Мазур В. І., Бондар В. П. **Електричні апарати** : підручник / І. І. Курбатов, В. І. Мазур, В. П. Бондар. — К. : НАУ, 2019. — 576 с.

9. Кузнецов В. Г., Рибалко О. М. **Електричні контакти та контактні з'єднання** : навч. посіб. / В. Г. Кузнецов, О. М. Рибалко. — Харків : НТУ «ХП», 2016. — 312 с.

10. Мартинюк П. Д. **Електричні та електронні апарати** : навч. посіб. / П. Д. Мартинюк. — Львів : Магнолія 2006, 2018. — 356 с.

11. Матеріалознавство в електротехніці : підручник / В. М. Ольшанський та ін. — Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. — 256 с.

12. Попович А. І., Ковальчук Ю. Г. **Магнітні підсилювачі та їх застосування** : навч. посіб. / А. І. Попович, Ю. Г. Ковальчук. — Івано-Франківськ : Прикарпат. нац. ун-т, 2021. — 276 с.

13. Сивухін Д. В., Голуб І. В. **Електротехніка** : підручник / Д. В. Сивухін, І. В. Голуб. — К. : Либідь, 2017. — 912 с.

14. Чунихін А. А. **Електричні апарати** : загальний курс (перекладене видання або навчальні матеріали).

15. Holm R. **Electric Contacts: Theory and Application**. — 4th ed. — Berlin : Springer-Verlag, 2000. — 482 p.

16. Slade P. G. **Electrical Contacts: Principles and Applications**. — 2nd ed. — Boca Raton : CRC Press, 2014. — 1312 p.